

ANALISA DEFORMASI TANAH LEMPUNG BENTONITE

Wahyu Adi Tama A ¹⁾, Eka Priadi ²⁾, Aprianto ²⁾

Abstrak

Tanah lempung merupakan jenis tanah yang memiliki sifat *kompresibel* dan *plastis*. Kedua sifat ini jika ditambah dengan angka pori yang tinggi, merupakan unsur yang mendukung proses pengembangan (*swelling*) pada tanah. Tanah akan mengalami penurunan atau penyusutan volume jika diberi pembebanan. Penyusutan yang terjadi akan lebih besar pada tanah yang memiliki kandungan air lebih tinggi karena air sebagai pembasah pada partikel tanah akan menghasilkan efek pemadatan yang lebih besar. Tanah lempung yang telah mengalami penyusutan tersebut jika mengalami kontak dengan air akan menunjukkan perilaku khas partikel lempung yang akan menarik molekul air dengan kemampuan yang bergantung pada jenis dan jumlah kandungan mineral yang terdapat pada mineral tersebut. Penelitian ini ingin menyelidiki seberapa besar pengembangan dan tekanan pengembangan pada tanah lempung bentonite yang diamati dengan beberapa kadar air yang berbeda. Untuk menunjang penelitian utama tersebut dilakukan penelitian atas *indeks properti* untuk menjelaskan perilaku tanah lempung bentonite. Hasil yang didapat yaitu tanah lempung bentonite yang diamati merupakan tanah dengan kadar *plastisitas* tinggi. Nilai maksimum dari *indeks plastisitas* lempung sebesar 26,499 %. Mineral lempung yang terkandung pada tanah tersebut yaitu jenis *montmorillonite* dengan tingkat pengembangan yang tinggi. Pengukuran besarnya *swelling* dengan cara *CBR* randam diperoleh *swelling* sebesar 8,532 %, serta pengukuran *swelling pressure* dengan menggunakan alat *geonor swelling test* diperoleh nilai sebesar 4,438 kg/cm².

Kata-kata kunci: tanah lempung, pengembangan, mineral lempung, *indeks properti*

1. PENDAHULUAN

Tanah *ekspansif* merupakan tanah yang secara fisik dan teknis kurang memenuhi persyaratan untuk mendirikan suatu struktur bangunan. Sifat-sifat tanah *ekspansif* yang kurang baik untuk bangunan diantaranya, kekuatannya rendah dan pengembangannya (*swelling*) cukup besar apabila dipengaruhi oleh air, sifat pengembangan (*swelling*) ini merupakan salah satu dari sifat-sifat fisik tanah *ekspansif*, sehingga tanah yang mempunyai sifat *ekspansif* tersebut

merupakan tanah yang secara fisik dan teknis kurang memenuhi persyaratan untuk pekerjaan bangunan, dan potensial untuk menimbulkan kerusakan pada konstruksi di atasnya.

Kerusakan pada umumnya berupa retak-retak akibat penurunan yang tidak merata dan pengembangan (*swelling*) yang besar. Seperti diketahui sebelumnya masalah yang ditimbulkan tanah yang mempunyai sifat *ekspansif* dinegara kita cukup besar, begitu juga yang terjadi dimancanegara. Salah satu contoh

sebagai bahan penelitian adalah diambil sampel tanah lempung bentonite

Untuk mengetahui besarnya pengembangan (*swelling*) yang terjadi pada tanah yang bersifat *ekspansif*, dapat dilakukan dengan beberapa cara diantaranya, uji pengembangan, dan uji tekanan pengembangan (*swelling pressure*). Dengan berbagai macam persentase pencampuran kadar air (*w*) maka pengaruh pengembangan (*swelling*) akan didapatkan hasil atau nilai-nilai yang bervariasi.

Proses keluarnya air dari dalam pori-pori tanah secara perlahan-lahan sebagai akibat dari penambahan beban, yang disertai dengan pemindahan kelebihan tekanan air pori. Penurunan pada lapisan tanah ekspansif umumnya penurunan konsolidasi. Penurunan ini biasanya dijelaskan dengan metode konsolidasi satu dimensi. Metode ini berdasarkan pada uji *konsolidometer* yang diperkenalkan oleh Terzaghi. Uji konsolidasi dimaksudkan untuk melihat karakteristik suatu tanah *ekspansif* selama mengalami konsolidasi satu dimensi. Dari pengujian ini, akan didapatkan parameter suatu tanah *ekspansif* berupa perubahan angka pori (Δe), atau perubahan tebal contoh (ΔH), indeks pemampatan (C_c), dan koefisien konsolidasi (C_v). Dimana parameter-parameter ini digunakan untuk memperkirakan penurunan dan laju penurunan suatu lapisan tanah *ekspansif*.

Dengan melihat kondisi lapisan tanah, berupa tanah yang lunak dan lembab, serta memperhatikan batas pengaruh

beban. Dimana perlu diadakan suatu studi tentang pengaruh pembebanan terhadap perilaku atau karakteristik penurunan dari tanah ekspansif ini, dan kemampuan pemampatan dari tanah ekspansif tersebut dalam menerima beban. Untuk itu akan dicoba melakukan studi penurunan (*settlement*) melalui pengujian konsolidasi dengan cara menambah besar beban awal pada pengujian tersebut, yang diistilahkan sebagai uji konsolidasi dengan variasi beban.

Pengujian konsolidasi yang akan dilakukan berdasarkan standar dari ASTM. Dimana berat beban awal yang diberikan pada contoh menghasilkan tegangan $0,25 \text{ kg/cm}^2$, dan beban selanjutnya sebesar dua kali beban awal dengan jumlah pemberian beban sebanyak enam kali, yang berarti beban terakhir adalah 8 kg/cm^2 . Jika dimulai sebesar $0,5 \text{ kg/cm}^2$, beban terakhir menjadi 16 kg/cm^2 . Dan jika beban awalnya 1 kg/cm^2 , maka beban akhirnya 32 kg/cm^2 . Ini merupakan kapasitas maksimal beban yang mampu diberikan oleh alat uji konsolidasi model ASTM. Sehingga variasi beban awal yang dilakukan hanya tiga variasi yaitu $0,25 \text{ kg/cm}^2$, $0,5 \text{ kg/cm}^2$ dan 1 kg/cm^2 .

Kita dapat memprediksi pengembangan dan penyusutan ini dengan berbagai metode dan penelitian atas tanah. Yaitu dengan tes pengembangan dan penyusutan dari beberapa tes di laboratorium yang sederhana, analisa terhadap jenis mineral dan korelasinya

dengan klasifikasi serta *indeks properti* dari tanah.

2. KONSEP DASAR

Bentonit adalah istilah untuk lempung (*clay*) yang mengandung monmorilonit di dalam dunia perdagangan dan termasuk kelompok *dioktahedral* (Puslitbang Tekmira, 2005). Bentonite termasuk mineral lempung *clay* golongan smektit *dioktahedral* yang mengandung sekitar 80% *monmorilonit* dan sisanya antara lain *kaolit*, *illit*, *feldspar*, *gypsum*, abu vulkanik, kalsium karbonat, pasir kuarsa dan mineral lainnya (Gunister *et al.*, 2004).

Istilah bentonit pertama kali dikenalkan oleh W. C. Knight pada tahun 1989. Penamaan ini diberikan karena bentonit ditemukan di daerah Fort Benton, Wyoming Amerika Serikat, sedangkan istilah *monmorilonit* berasal dari Prancis yang ditemukan di Montmorillon Veinne.

Bentonite terbentuk dari proses mekanik dan kimiawi dari batuan yang dipengaruhi cuaca (pada lingkungan alkali), batuan tersebut umumnya berasal dari batuan ledakan gunung berapi, bisa juga berasal dari batuan andesit, riolit, basal, dan lain-lain, kebanyakan adalah batuan tersier. Keberadaan bentonit sangat melimpah di Indonesia, antara lain tersebar di pulau Jawa, pulau Sumatra, sebagian pulau Kalimantan Timur dan pulau Sulawesi (Puslitbang Tekmira, 2005).

Bentonit kering mempunyai sifat fisik seperti berupa partikel butiran halus yang berwarna kuning muda, putih dan abu-abu dengan karakteristik sebagai berikut :
Massa jenis : 2,2 – 2,7 g/L
Massa molekul relative : 549,07 g/mol
Bentuk fisik dari bentonit dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1.
Bentuk Fisik Bentonite

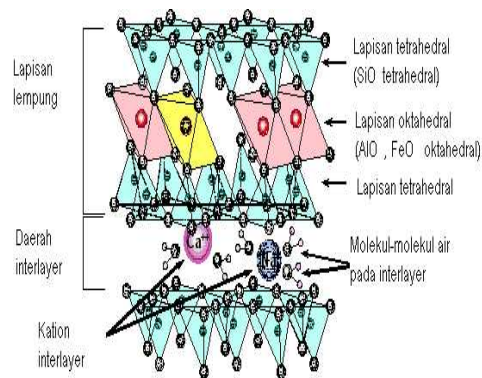
Monmorilonit Yang menyusun sebagian besar bentonit termasuk kelompok mineral *smektit* yang memiliki struktur koloidal dengan ukuran partikel sangat kecil sehingga untuk mengidentifikasinya hanya dapat dilakukan dengan analisis difraksi sinar-X. Struktur *monmorilonit* yang dapat diterima dikemukakan pada tahun 1993 oleh Hofman, Endell, dan Wilm. Selanjutnya struktur *monmorilonit* dimodifikasi oleh Marshal, Maegdefrau, Hofman dan Hendricks. Mereka menyatakan bahwa *monmorilonit* terbentuk dari satu lapisan alumina octahedral yang disisipkan diantara dua lapisan tetrahedral silica (Grim, 1968). Tabel 1. menunjukkan kandungan

mineral monmorilonit dan Gambar 2. menunjukkan molekul monmorilonit menurut Hofman.

Tabel 1.
Kandungan Mineral Monmorilonit

| Senyawa Kimia | Persentase (%) |
|--------------------------------|----------------|
| SiO ₂ | 61 - 68 % |
| Al ₂ O ₃ | 21 - 24 % |
| Fe ₂ O | 1 -2 % |
| CaO | 2 -3 % |
| MgO | 3 -4 % |
| K ₂ O | < 0,05 % |
| Na ₂ O | 0 - 1 % |
| H ₂ O | 10 - 11 % |

(PD. Agribisnis dan Pertambangan, 2007)



Gambar 2.
Struktur Molekul Monmorilonit

3. METODE PENELITIAN

Dalam bab ini akan dijelaskan mengenai metodologi penelitian yang akan dilakukan untuk memungkinkan kebenaran yang obyektif dengan berdasarkan fakta-fakta sebagai bukti. Untuk mendapatkan kebenaran tersebut diperlukan suatu metode atau prosedur dalam langkah kegiatan penelitian yang sistematis dan mengikuti konsep ilmiah.

Adapun prosedur yang digunakan dalam penelitian ini berisikan tentang bahan dan alat yang digunakan, jalan penelitian yang akan menguraikan tahap-tahap pelaksanaan penelitian dan pengumpulan data. Selain itu juga diuraikan bagaimana cara menganalisa dan mengolah hasil penelitian

Metode merupakan cara utama yang digunakan untuk mencapai suatu tujuan. Dalam penelitian ilmiah metode yang digunakan haruslah sesuai dengan masalah dan tujuan yang dirumuskan, sehingga akan diperoleh hasil yang diinginkan. Ada beberapa metode penelitian yang dapat digunakan untuk memecahkan masalah yaitu metode historic, metode deskriptif dan metode eksperimental.

Pada penulisan ini metode yang digunakan adalah metode eksperimental yang dilaksanakan dilaboratorium. Hasil percobaan berupa data selanjutnya akan dianalisis.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Jenis Kandungan Mineral

Untuk data jenis kandungan mineral, digunakan data sekunder yang diperoleh dari Departemen Pertambangan dan Energi. M.S (1995) menyatakan bahwa mineral kaolin terdapat di Kalimantan Barat dalam sebaran yang luas karena di daerah ini terjadi sebaran granit yang sangat luas juga di dukung oleh iklim tropis yang sangat membantu dalam terbentuknya kaolin. Namun keberadaan mineral kaolin ini pada beberapa lokasi merupakan endapan alluvial dan hampir selalu mengandung pasir kuarsa yang berukuran sangat halus, sedang sampai kasar. Oleh karena itu lempung jenis ini oleh para ahli geologi terdahulu dinamakan endapan lumpur. Sifat kaolin jenis ini sangat plastis, berwarna putih sampai putih kecoklatan.

Berdasarkan hasil penyelidikan yang dilakukan seksi SDM Kanwil Departemen Pertambangan dan Energi, hampir diseluruh kabupaten di Kalimantan Barat memiliki sebaran mineral lempung jenis kaolin yang beberapa tempat memiliki cadangan sampai 10 ton.

Sedangkan berdasarkan penyelidikan yang dilakukan oleh P.T. Tanah Lempung di Desa Sagatani Kecamatan Tujuh Belas Kabupaten Sambas (1991), didapatkan kandungan jenis mineral lempung dengan komposisi terbesar pada mineral kaolinite sebesar 50 % dan

komposisi jenis mineral terkecil terdapat pada quartz dan lain-lain sebesar 5 %. Untuk data jenis mineral seperti yang tercantum pada Tabel 2. berikut ini :

Tabel 2.
Jenis dan Komposisi Mineral Lempung di

| Jenis Mineral | Komposisi |
|---------------|-----------|
| Kaolinite | 50% |
| Illite | 20% |
| Gibbsite | 5% |
| Quartz | 20% |
| Lain lain | 5% |

Kabupaten Sambas (PT. Tanah Lempung, 1991)

4.2 Swelling Pressure

Tanah lempung dengan kemampuan mengembang yang cukup besar menghasilkan tekanan untuk melawan beban yang bekerja diatasnya ketika air tersedia untuk bertambahnya volume. Berikut adalah Tabel hubungan potensi mengembang dengan tekanan mengembang menurut Garcia-Iturbe (1980) dapat dilihat pada Tabel 3. dan resume daftar harga swelling pressure tanah lempung Bentonite dapat dilihat pada Tabel 4. sebagai berikut :

Tabel 3.
Hubungan Potensi Mengembang
Dengan Tekanan Mengembang

| Swelling Potensial | Swelling Pressure |
|--------------------|-------------------|
| Low | <2 |
| Medium | 2–4 |
| High | 4–7 |
| Very High | >7 |

(Garcia – Iturbe, 1980)

Tabel 4.
Resume Harga Swelling Pressure

| No.Sampel | Swelling Pressure (kg/cm ²) |
|-----------|---|
| 1 | 3.944 |
| 2 | 4.438 |
| 3 | 4.125 |
| 4 | 4.000 |
| 5 | 4.144 |
| Rata-rata | 4.130 |

Garcia-Iturbe, Martinez, dan Polin (1980) dalam makalahnya mengemukakan hubungan antara potensi mengembang

dengan tekanan mengembang, seperti terlihat pada Tabel 3. di atas, dilihat bagaimana potensi mengembang suatu sampel tanah berdasarkan tekanan mengembangnya. Untuk nilai *swelling pressure* dibawah 2 memiliki swelling potensial yang rendah sedangkan untuk swelling pressure yang memiliki nilai diatas 7 memiliki swelling pressure sangat tinggi. Untuk sampel tanah lempung bentonite yang diuji memiliki *Swelling Pressure* sebesar 4,438 kg/cm². Jadi tanah lempung Bentonite tergolong memiliki *swelling potensial* yang tinggi atau *high*.

4.3 Hasil Uji Pengembangan

Pengujian pengembangan dilakukan dengan cara *CBR Swelling* (*CBR* rendam). Dari hasil pengujian didapat nilai terbesar pada sampel 2 dengan nilai *swelling potensial* 8,532 % sedangkan nilai terkecil terdapat pada sampel 5 dengan nilai *swelling potensial* sebesar 8,335 %, rata-rata nilai *swelling potensial* sebesar 8,408 %. Setelah itu dilakukan pengujian dengan alat CBR. Data hasil pengujian CBR Swelling terlampir pada Tabel 5. :

Tabel 5.
Resume Harga CBR Swelling (CBR Rendam)

| No.Sampel | Swelling Potensial (%) |
|-----------|------------------------|
| 1 | 8.395 |
| 2 | 8.532 |
| 3 | 8.386 |
| 4 | 8.393 |
| 5 | 8.335 |
| Rata-rata | 8.408 |

4.4 Berat Jenis Tanah

Berat jenis (specific gravity) tanah (G_s) didefinisikan sebagai perbandingan antara berat volume butiran padat (y_s) dengan berat volume air (y_w) pada temperatur tertentu. Biasanya diambil pada temperatur 27,5 °C. Rumus untuk mencari berat jenis adalah :

$$G_s = y_s / y_w.$$

Dari hasil pengujian berat jenis didapat nilai terbesar terdapat pada sampel 1 dengan nilai berat jenis 1,800 sedangkan nilai berat terkecil terdapat pada sampel 2 dengan nilai berat jenis 1,412, rata-rata nilai berat jenis sebesar 1,572. Data hasil pengujian berat jenis tanah lempung bentonite pada Tabel 6.. dibawah ini :

Tabel 6.
Resume Berat Jenis Tanah Lempung Bentonite

| No. Sampel | Berat Jenis |
|------------|-------------|
| 1 | 1.800 |
| 2 | 1.412 |
| 3 | 1.423 |
| 4 | 1.628 |
| 5 | 1.598 |
| Rata-rata | 1.572 |

4.5 Klasifikasi Tanah

Untuk memberikan gambaran tentang karakteristik tanah lempung yang diamati dalam penelitian, perlu dievaluasi tipe tanah tersebut berdasarkan standar klasifikasi yang ada. Adapun sistem klasifikasi yang digunakan yaitu sistem *Unified*. Sistem ini menggunakan hubungan antara batas cair (LL) untuk arah X dengan *Indeks Plastisitas* (IP) untuk arah Y . Adapun analisa *atterberg* dari tiap-tiap sampel yaitu sebagai berikut :

a. Sampel tanah 1

Dari hasil penelitian yang dilakukan didapatkan data-data sebagai berikut :

$$LL = 358.021 \%$$

$$PL = 22.062 \%$$

$$IP = 335.958 \%$$

Dengan memplotkan data tersebut pada grafik batas cair vs indeks plastisitas, didapatkan jenis tanah adalah *MH* dan *CH*. Dari tabel

diketahui bahwa tanah dengan klasifikasi *MH* yaitu lanau tak organik, pasir halus, lanau elastis dan *CH* yaitu lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk (*fat clay*).

b. Sampel tanah 2

Dari hasil penelitian yang dilakukan didapatkan data-data sebagai berikut :

$$LL = 347.389 \%$$

$$PL = 22.961 \%$$

$$IP = 324.428 \%$$

Dengan memplotkan data tersebut pada grafik batas cair vs indeks plastisitas, didapatkan jenis tanah adalah *MH* dan *CH*. Dari tabel diketahui bahwa tanah dengan klasifikasi *MH* yaitu lanau tak organik, pasir halus, lanau elastis dan *CH* yaitu lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk (*fat clay*).

c. Sampel tanah 3

Dari hasil penelitian yang dilakukan didapatkan data-data sebagai berikut :

$$LL = 358.647 \%$$

$$PL = 25.023 \%$$

$$IP = 333.624 \%$$

Dengan memplotkan data tersebut pada grafik batas cair vs indeks plastisitas, didapatkan jenis tanah adalah *MH* dan *CH*. Dari tabel diketahui bahwa tanah dengan klasifikasi *MH* yaitu lanau tak organik, pasir halus, lanau elastis dan *CH* yaitu lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk (*fat clay*).

d. Sampel tanah 4

Dari hasil penelitian yang dilakukan didapatkan data-data sebagai berikut :

$$LL = 368.382 \%$$

$$PL = 24.510 \%$$

$$IP = 343.872 \%$$

Dengan memplotkan data tersebut pada grafik batas cair vs indeks plastisitas, didapatkan jenis tanah adalah *MH* dan *CH*. Dari tabel diketahui bahwa tanah dengan klasifikasi *MH* yaitu lanau tak organik, pasir halus, lanau elastis dan *CH* yaitu lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk (*fat clay*).

e. Sampel tanah 5

Dari hasil penelitian yang dilakukan didapatkan data-data sebagai berikut :

$$LL = 355.437 \%$$

$$PL = 26.499 \%$$

$$IP = 328.938 \%$$

Dengan memplotkan data tersebut pada grafik batas cair vs indeks plastisitas, didapatkan jenis tanah adalah *MH* dan *CH*. Dari tabel diketahui bahwa tanah dengan klasifikasi *MH* yaitu lanau tak organik, pasir halus, lanau elastis dan *CH* yaitu lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk (*fat clay*).

Dari hasil yang didapat nampak bahwa tanah yang diteliti terdiri dari tanah lempung anorganik dengan plastisitas tinggi. Jadi dari kelima sampel tanah tersebut jenis tanah yang dominan yaitu lempung tak organik dengan plastisitas tinggi. Dari data hasil penelitian didapat

nilai *indek plastis* terbesar pada sampel 4 dengan nilai 343,872 % sedangkan nilai terkecil terdapat pada sampel 2 dengan nilai 324,428 %, rata-rata nilai *indek plastis* adalah 333,364 %. Adapun resume hasil penelitian tentang batas cair dan batas plastis dari tanah lempung Bentonite dapat dilihat pada Tabel 7. sebagai berikut :

Tabel 7.

Resume Nilai Batas Cair, Batas Plastis, Dan Indek Plastis

| No Sampel | Batas Cair (%) | Batas Plastis (%) | Indek Plastis (%) |
|-----------|----------------|-------------------|-------------------|
| a (1) | 358.021 | 22.062 | 335.958 |
| b (2) | 347.389 | 22.961 | 324.428 |
| c (3) | 358.647 | 25.023 | 333.624 |
| d (4) | 368.382 | 24.510 | 343.872 |
| e (5) | 355.437 | 26.499 | 328.938 |
| Rata-rata | | | 333.364 |

5. SIMPULAN

Beberapa Dari hasil penelitian dan analisa data yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Berdasarkan sistem klasifikasi tanah *M.I.T.*, tanah lempung bentonite didominan oleh lapisan lempung tak organik dengan plastisitas tinggi (*CH*). Lanau tak organik atau pasir halus diatomeae, lanau *elastic* (*MH*) juga terdapat pada tanah ini.
2. Dari hasil penelitian diperoleh nilai dengan *indek plastisitas* tanah (*IP*) antara 324,428 % dan 335,958 % , yang menurut (Chen, Roman, 1967) tanah tersebut mempunyai tingkat pengembangan sangat tinggi.
3. Secara mineralogi (fraksi lempung dengan ukuran lebih kecil dari 0.002 mm (lolos saringan 200), sampel tanah yang lolos ukuran tersebut diatas, antara 81,12 % hingga 93,60 %, yang menurut kriteria Chen (1975), dikategorikan sebagai tanah dengan tingkat *ekspansifitas* (*degree of expansion*) yang sangat tinggi (*very high*).

6. SARAN

1. Untuk memperoleh kriteria pengembangan yang lebih akurat, sebelum melakukan penelitian mengenai potensi

pengembangan suatu contoh tanah, hendaknya diteliti dahulu jenis mineral (Mineralogi) tanah tersebut.

2. Untuk mendapatkan kesimpulan yang lebih akurat, jumlah sampel tanah lebih diperbanyak, dan jenis percobaan lebih bervariasi.
3. Kombinasi atau Variasi tekanan awal harus dilakukan, hal ini untuk mendapatkan swelling potensial yang lebih akurat.
4. Ketelitian dalam menggunakan alat dan penysetelan sangat berpengaruh terhadap hasil penelitian, oleh karena itu perlu dipertimbangkan sebelum pelaksanaan percobaan.

Daftar Pustaka

- Craig, F.H., 1957, *Foundation On Expansive Soil, Development in Geotechnical Engineering 12*, Elsevier Scientific Publishing Company, New York.
- Das, B.M., 1985, *Mekanika Tanah (prinsip-prinsip rekayasa Geoteknis)*, PWS-KENT Publisher
- Soleh, M.,Ir., 1995, *Kaolin di Klimantan Barat*, Kanwil Pertambangan dan Energi Kalbar
- Said, 1997, *Studi Pengembangan Tanah Lempung di Kotamadya Pontianak*.

Salvinus Sam, 2001, *Pengaruh Pembebanan Terhadap Kembang Susut Gambut di Kotamadya Pontianak*

Craig, R.F. *Mekanika Tanah*, 1989, Erlangga, Jakarta.

Smith, M. J. *Mekanika Tanah*, 1984, Erlangga, Jakarta.

Dr,Ir, Suyono Sosrodarsono dan Kazuto Nakazawa, "*Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*", Penerjemah Ir, L, Taulu dkk, Penerbit PT Pradya Paramita, Jakarta.

IR, Shirley LH, "*Geoteknik dan Mekanika Tanah*", Penerbit Nova.

Departemen Pekerjaan Umum, *Penanganan Tanah EKspansif untuk konstruksi jalan*. Pd. T-10-2005-B.